

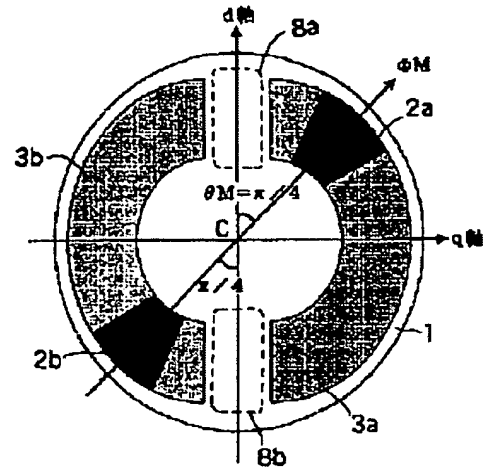
# ROTOR STRUCTURE FOR SYNCHRONOUS MACHINE, SYNCHRONOUS TYPE MOTOR, AND SYNCHRONOUS TYPE GENERATOR

Patent number: JP2000060039  
Publication date: 2000-02-25  
Inventor: KATO YASUAKI  
Applicant: SHARP KK  
Classification:  
- international: H02K1/27; H02K1/24; H02K19/10  
- european:  
Application number: JP19980223065 19980806  
Priority number(s): JP19980223065 19980806

Report a data error here

## Abstract of JP2000060039

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent the permanent magnets of a rotor from being scattered by arranging the permanent magnets in the rotor. **SOLUTION:** A two-pole rotor 1 has a cylindrical shape and plurality of permanent magnets 2a and 2b, and gap spaces 3a and 3b are arranged in the rotor 1 so that magnetic poles may be positioned between the spaces 3a and 3b. Since the areas 8a and 8b shown by the dotted lines between the spaces 3a and 3b are made of magnetic steel, the areas 8a and 8b have higher magnetic permeability than the spaces 3a and 3b have and smaller magnetic reluctances than the spaces 3a and 3b have. Consequently, the areas 8a and 8b become magnetic poles, because the magnetic field imparted by means of a stator is concentrated to the areas 8a and 8b, and the areas 8a and 8b become magnetic paths through which the magnetic field passes. In addition, the permanent magnets 2a and 2b are inserted into the gap spaces 3a and 3b so that the electrical angle  $\theta$  m between the direction of the magnetic poles and the central direction of magnetic fluxes may become  $\pi/4$ . Therefore, the permanent magnets 2a and 2b are not scattered from the rotor 1 even when the rotor 1 is rotated at a high speed.



(19) 日本特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-60039

(P2000-60039A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 2 K	1/27	5 0 1	5 0 1 A 5 H 0 0 2
			5 0 1 K 5 H 6 1 9
			5 0 1 M 5 H 6 2 2
	1/24	1/24	
	19/10	19/10	A
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 9 頁)			

(21) 出願番号 特願平10-223065

(22) 出願日 平成10年8月6日 (1998.8.6)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 加藤 康昭

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74) 代理人 100085501

弁理士 佐野 静夫

Fターム (参考) SH002 AA05 AB05 AB07 AC06 AD04

AB08

SH619 AA01 BB01 BB13 BB15 BB24

PP02 PP06 PP08

SH622 AA03 CA02 CA07 CA10 CA12

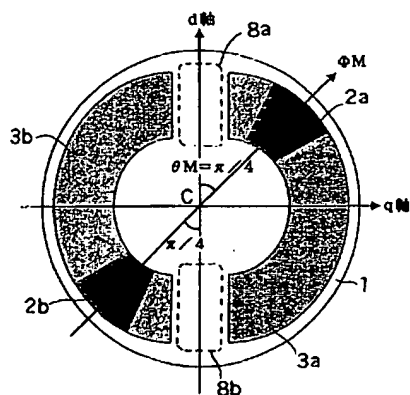
CB04 CB05 PP03 PP11

(54) 【発明の名称】 同期機の回転子構造、同期型モータ及び同期型発電機

(57) 【要約】

【課題】 永久磁石と磁気極を備えた同期機の回転子の構造を高速回転によっても永久磁石が飛散しないようにするとともに、さらなる性能の向上を図る。

【解決手段】 同期機の回転子1は円柱形とし、その内部に打ち抜きによってギャップ空間3a、3bを設けることによりギャップ間に磁気極8a、8bを形成する。そして、ギャップ空間3a、3bにそれぞれ磁極の磁路方向と界磁磁束方向中心とのなす電気角 $\theta_a$ が $\pi/4$ となるように永久磁石2a、2bを挿入する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転子に永久磁石と、磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極とを備えた同期機の回転子構造において、

前記回転子内部に永久磁石を配置したことを特徴とする同期機の回転子構造。

【請求項2】 前記磁気極の磁路方向と前記永久磁石による界磁磁束方向の中心とのなす角を電気角で30度以上60度未満としたことを特徴とする請求項1に記載の同期機の回転子構造。

【請求項3】 回転子に永久磁石と、磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極とを備えた同期機の回転子構造において、

回転子の形状を円柱形とするとともに、前記回転子の内部の一部を透磁率が異なるようにすることによって前記磁気極が毀けられていることを特徴とする同期機の回転子構造。

【請求項4】 前記一部は前記回転子に打ち抜かれたギャップ空間であることを特徴とする請求項3に記載の同期機の回転子構造。

【請求項5】 前記一部は前記回転子の内部に埋め込まれた低透磁率の材料から成ることを特徴とする請求項3に記載の同期機の回転子構造。

【請求項6】 前記磁気極の磁路方向と前記永久磁石による界磁磁束方向の中心とのなす角を電気角で70度とするとともに、前記界磁磁束方向の中心から両方に電気角で65度以下の範囲で磁束が回転子の周縁を横切るようになっていることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の同期機の回転子構造。

【請求項7】 前記回転子は回転軸の方向に向かって回転方向又はその逆方向にずれたスキューを持っていることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の同期機の回転子構造。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の同期機の回転子構造の回転子を有する同期型モータ。

【請求項9】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の同期機の回転子構造の回転子を有する同期型発電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、同期型モータや同期発電機等の同期機の回転子構造、特に回転子に永久磁石と磁気極とを備えた回転子構造と、このような回転子構造の回転子を持つ同期型モータ及び同期型発電機に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の回転子を備える同期機として、例えば特開平7-143694号公報に記載の「同期機のロータ構造および同期型モータ」がある。この同期機の回転子の構造を図11に示す。回転子30はその外周に永久磁石31を備えるとともに透磁率の高い

材料から成る突起形状による磁気突極32を備える。そして、その回転子30は永久磁石31による界磁磁束方向の中心 $\Phi_0$ と磁気突極方向d軸とのなす電気角 $\theta_0$ を45度以上90度未満となるようにしている。

【0003】そして、この回転子30を備えた同期型モータでは、この回転子の外部に配置された固定子（図示せず）に巻回されたコイルに電機子電流を供給することにより回転磁界が発生する。この回転磁界により回転子30では永久磁石31でマグネットトルクが発生し、磁気突極32でリラクタンストルクが発生する。このマグネットトルクとリラクタンストルクによって回転子30が回転する。そして、上記従来例（特開平7-143694号公報）に示されるように、角度 $\theta_0$ を45度以上90度未満とすることによって上記電機子電流の電流位相に対するマグネットトルクとリラクタンストルクのピークが近づくので高トルクが得られるようになっている。なお、図11において、Cは回転軸の中心である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の同期機の回転子30では、永久磁石31が回転子30の外周に取り付けられた構造になっているため、回転子30が高速回転することによって永久磁石31が飛散するおそれがあった。

【0005】また、磁気突極32は突起形状となっているので回転子30の回転時に風が巻き上がり、このような風損によって回転抵抗が大きくなるという問題があった。

【0006】また、上記従来の同期機の回転子30では、永久磁石の界磁の径方向の広がりを示す角度 $\alpha$ が考慮されておらず、更なる出力トルクの向上を図ることができなかった。

【0007】本発明は永久磁石と磁気極を備えた同期機の回転子の構造を、高速回転によっても永久磁石が飛散しないようにすることを第1の目的とする。また、本発明は永久磁石と磁気極を備えた同期機の回転子構造を風損による回転抵抗が大きくなるようにすることを第2の目的とする。また、本発明は永久磁石と磁気極を備えた同期機の回転子構造を永久磁石の界磁の角度広がりを考慮して更にマグネットトルクを有効に活用することを第3の目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明の第1の構成では、回転子に永久磁石と、磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極とを備えた同期機の回転子構造において、前記回転子内部に永久磁石を配置した構造としている。

【0009】このような構成によると、回転子は永久磁石と磁気極を備えた回転子の内部に永久磁石が埋め込まれているので、回転子が高速回転したとしても永久磁石が飛散することがない。

【0010】また、本発明の第2の構成では、上記第1の構成において、前記磁気極の磁路方向と前記永久磁石による界磁磁束方向の中心とのなす角を電気角で30度以上60度未満としている。

【0011】このような構成によると、同期機が同期型モータである場合、固定子からの回転磁界によって永久磁石に働くマグネットトルクと、磁気極に働くリラクタンストルクのピークが近づくので出力トルクが増大する。一方、同期型発電機である場合、大きな起電力が得られる。

【0012】また、上記第2の目的を達成するために、本発明の第3の構成では、回転子に永久磁石と、磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極とを備えた同期機の回転子構造において、回転子の形状を円柱形とするともに、前記回転子の内部の一部を透磁率が異なるようにすることによって前記磁気極が設けられている。

【0013】このような構成によると、円柱形の回転子内部に透磁率の異なる部分を設けることによって磁気極が設けられているので、回転子を円柱形状とすることができる。そして、回転子が円柱形状となっているため回転子が回転するときの風損による回転抵抗は断面が小判形等と比べると小さくなる。

【0014】また、本発明の第4の構成では、上記第3の構成において、前記一部は前記回転子に打ち抜かれたギャップ空間であるようにしている。

【0015】このような構成によると、回転子内部に打ち抜きにより設けられたギャップ空間は回転子を構成する鋼材等に対して透磁率が低くなっている。そして、例えば、このギャップ空間とギャップ空間との間に回転子を構成する鋼材等によって磁路が設けられ、この部分が磁気極となる。

【0016】また、本発明の第5の構成では、上記第3の構成において、前記一部は前記回転子の内部に埋め込まれた低透磁率の材料から成るようにしている。

【0017】このような構成によると、回転子の内部にアルミニウム等の低透磁率の材料が埋め込まれているので回転子内部に透磁率の異なる部分ができる。そのため、回転子に磁気極を設けることができる。

【0018】また、上記第3の目的を達成するために、本発明の第6の構成では、上記第1の構成乃至上記第5の構成のいずれかにおいて、前記磁気極の磁路方向と前記永久磁石による界磁磁束方向の中心とのなす角を電気角で70度とするとともに、前記界磁磁束方向の中心から両方に電気角で65度以下の範囲で磁束が回転子の周縁を横切るようになっている。

【0019】このような構成によると、電気角で-5度から5度までの範囲に磁路が設けられているので、回転子に磁気極を設けることができる。そして、その磁路の中心となる軸上から5度〜135度の範囲に磁束が回転子の周縁を横切るように永久磁石が設けられている。こ

れにより、同期型モータでは回転磁界が回転子に与えられることによりマグネットトルクとリラクタンストルクが発生し、回転子が回転する。

【0020】また、本発明の第7の構成では、上記第1の構成乃至上記第6の構成のいずれかにおいて、前記回転子は回転軸の方向に向かって回転方向又はその逆方向にずれたスキューを持っている。

【0021】このような構成によると、回転子は回転軸方向に従ってスキューを持つ構造となっているので、電機子電流の位相に対する出力トルクの特性が尖鋭なピークを持たず、平坦に広がるので例えば同期型モータでこの構造の回転子を備えると負荷変動等に対しても出力トルクの変動が小さく駆動制御が簡単となる。

【0022】また、本発明の第8の構成では、同期型モータは上記第1の構成乃至上記第7の構成のいずれかの同期機の回転子構造の回転子を有するようにしている。このような構成によると、同期型モータは回転子が高速回転しても永久磁石が飛散することなく、又は出力トルクが向上する。

【0023】また、本発明の第9の構成では、同期型発電機は上記第1の構成乃至上記第7のいずれかの同期機の回転子構造の回転子を有するようにしている。このような構成によると、同期型発電機は回転子が高速回転しても永久磁石が飛散することなく、又は性能が向上するので大きな起電力が得られる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態について説明する。図1は本発明の一実施形態である同期型モータの構造を模式的に示す説明図である。固定子7は駆動回路（図示せず）によって正弦波形の電機子電流が流れることによって回転磁界を発生させる。2極の回転子1は円柱形状となっており、内部に複数の永久磁石2a、2bと、ギャップ空間3a、3bによってギャップ空間3a、3bの間に磁気極を備えた構造となっている。回転軸9は回転子1の中心軸に設けられている。

【0025】そして、固定子7と回転子1はケース（図示せず）に収められ、回転軸9はこのケースに回転自在となるように保持されている。なお、固定子7と回転子8はいずれも打ち抜きにより成形した薄い電磁鋼板を回転軸9の軸方向gに複数枚積層することにより形成される。回転子3は固定子7で発生する回転磁界を受けると永久磁石2a、2bによってマグネットトルクを発生させ、また前記磁気極でリラクタンストルクを発生させて回転する。

【0026】図2はその回転子7の断面図である。回転子7の同軸上に沿って2箇所にギャップ空間3a、3bが設けられている。点線8a、8bで囲まれたギャップ空間3aと3bの間にある領域は電磁鋼板であるので、ギャップ空間8a、8bよりも透磁率が高く磁気抵抗が小さくなる。したがって、ギャップ3a、3bは点線8a、

8bで囲まれた領域よりも透磁率が低くなっている。そのため、固定子7 (図1参照) によって与えられる磁界が領域8a、8bに集中し、磁界が通る磁路となるので領域8a、8bは磁気極となる。なお、図2では、以下説明の便宜のために回転軸9 (図1参照) を省略している。

【0027】回転子1の回転の中心をCとする。中心Cから磁気極8aの方向をd軸とする。d軸に対して電気角90度の方向をq軸とする。そして、永久磁石2aによって生ずる磁束の中心方向を $\Phi_n$ とする。d軸と $\Phi_n$ とのなす電気角を $\theta_n$ とすると、 $\theta_n = \pi/4$ となるように永久磁石2aがギャップ3aに挿入されている。磁気極8bと永久磁石2bとの関係についても同様に中心Cに対して点対称の位置に配置されている。

【0028】次に説明するように、永久磁石2a、2bを $\theta_n = \pi/4$ となるように配置することによってマグネットトルクとリラクタンストルクのピークが一致して回転子1の出力トルクが最大となる。

【0029】その説明のために、まず図3に示すように、d軸と $\Phi_n$ とのなす電気角を一般に $\theta_n$ とする。同期

$$T = P \cdot \Phi_n \cdot I_n - P \cdot (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q \quad (4)$$

図3に示すように、q軸方向はギャップ3a、3bによって透磁率の低い部分が介在しているためインダクタンスが低く $L_d > L_q$ である。

【0032】式(4)により、 $I_q$ が負となり且つ $I_n$ が正となる電機子電流 $I_a$ を流せば、両トルク $T_m$ 、 $T_r$ の合成により出力トルク $T$ の増大を図ることができる。d軸と $I_a$ とのなす電気角 (電流位相) を $\theta$ とする

$$T = P \cdot \Phi_n \cdot I_a \cos(\theta + \theta_n - \pi/2) + 1/2 \cdot P \cdot (L_d - L_q) \cdot I_a^2 \sin 2\theta \quad (8)$$

【0033】(8)式で得られる出力トルク $T$ の電流位相 $\theta$ に対する特性を図4に示す。(8)式により、図4に示すように $\theta_n = \pi/4$ となるように永久磁石を配置すると、(2)式で表されるマグネットトルク $T_m$ の最大値と、(3)式で表されるリラクタンストルク $T_r$ の最大値が電流位相 $\theta = \pi/4$ で一致し、出力トルク $T$ が最大となる。したがって、図2に示すように回転子1では $\theta_n = \pi/4$ となるように2極の永久磁石2a、2bが配置されている。さらに、この同期型モータ (図1) は $\theta = \pi/4$ となるように電機子電流 $I_a$ を制御することによって出力トルクが最大となる。

【0034】ところで、以上の議論では、永久磁石によ

$$dT = P \cdot \Phi_m(\theta_m) \cdot I_a \cos(\theta + \theta_m - \pi/2) + 1/2 \cdot P \cdot (L_d - L_q) \cdot I_a^2 \sin 2\theta \quad (9)$$

ここで、例えば、永久磁石による界磁束 $\Phi_m(\theta_m)$ は角度 $\theta_m$ に依存せず一定値 $\Phi_m I$ をとり、出力トルク $dT$ が最大となるように $\theta = \pi/4$ で電機子電流 $I_a$ を

$$dT = P \cdot \Phi_m I \cdot I_a \cos(\theta_m - \pi/4) + 1/2 \cdot P \cdot (L_d - L_q) \cdot I_a^2 \quad (10)$$

【0036】(10)式よりトルク $dT$ のうちマグネッ

型モータの出力トルク $T$ は次式(1)のように表される。

$$T = T_m + T_r \quad (1)$$

ここで、 $T_m$ は永久磁石界磁によるマグネットトルクで、 $T_r$ は磁気極が回転子1に設けられることによって生じるリラクタンストルクである。

【0030】上記トルク $T_m$ と $T_r$ は図2のようにd-q2軸座標で表すと、次式(2)、(3)となる。

$$T_m = P \cdot \Phi_n \cdot I_n \quad (2)$$

$$T_r = -P \cdot (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q \quad (3)$$

ここで、 $P$ は永久磁石の極対数、 $\Phi_n$ は永久磁石の各極での合成界磁束、 $L_d$ はd軸インダクタンス、 $L_q$ はq軸インダクタンス、 $I_n$ 、 $I_d$ 、 $I_q$ は電機子電流 $I_a$ のそれぞれ $\Phi_n$ と直交する方向成分、d軸方向成分、q軸方向成分である。なお、電機子電流 $I_a$ は固定子1 (図1参照) に印加される回転磁界発生用の電流である。

【0031】(1)～(3)式より同期型モータの出力トルク $T$ は、式(4)となる。

と、 $I_d$ 、 $I_q$ 、 $I_n$ は次のような関係を満たす。

$$I_d = I_a \cos \theta \quad (5)$$

$$I_q = -I_a \sin \theta \quad (6)$$

$$I_n = I_a \cos(\theta + \theta_n - \pi/2) \quad (7)$$

(5)～(7)式の関係と、 $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cdot \cos \theta$ の関係式を用いると、出力トルク $T$ は次式(8)で表される。

る界磁は合成界磁束の中心方向 $\Phi_n$ で代表させてその界磁束特性を取り扱ってきた。これより永久磁石による界磁の中心からの広がり $\delta$ を考慮して界磁束の角度範囲の最適値を求めると、さらなる出力トルクの向上を図ることができる。

【0035】図5に示すように、中心Cから磁気極の磁路方向をd軸とする。そして、d軸と電気角 $\theta_m$ となる方向に微小な角度範囲で磁束 $\Phi_m$ が永久磁石5aによって発生していると考ええる。このとき、 $\theta_m$ 方向の界磁束量 $\Phi_m$ は電気角 $\theta_m$ によって表すことができるとすると、磁束 $\Phi_m(\theta_m)$ による出力トルク $dT$ は(8)式を利用して次式(9)のように表される。

制御して駆動した場合、(9)式は次式(10)のようになる。

トルク $dT_m$ の $P \cdot \Phi_m I \cdot I_a \cos(\theta_m - \pi/4)$

4) は図4で示されるような特性となる。上記微小な角度範囲では、 $\theta_m = \pi/4$ のときにマグネットトルク  $dT_m$  が最大となり、出力トルク  $dT$  も最大となる。これは、式(8)によって得られる結果と同じである。

【0037】ここでは、永久磁石による界磁磁束が角度範囲を持つ場合では、全体のマグネットトルク  $T_m$  は  $dT_m$  の合成によって得られるので、図6でマグネットトルク  $dT_m$  が正となる範囲  $R$  でマグネットトルクが一定の界磁磁束  $\Phi_m 1$  を発生しているときに  $T_m$  は最大となる。すなわち、範囲  $R$  は界磁磁束角度  $\theta_m$  が  $-\pi/4$  以

上  $3\pi/4$  以下である。このとき、式(10)により全体のマグネットトルク  $T$  も最大となる。

【0038】上述の議論を一般化し、界磁磁束が界磁中心の方向  $\Phi_n$  から正方向と負方向にそれぞれ任意の  $\delta$  だけ広がった範囲に  $\Phi_m(\theta_m)$  となる場合の出力トルク  $T$  は式(9)によって得られる  $dT$  を合成することにより求められ、次式(11)となる。

【0039】

【数1】

$$T = P \cdot \Phi_m(\theta_m) \cdot I_a \int_{\theta_m - \delta}^{\theta_m + \delta} \cos(\theta + \theta_m - \pi/2) d\theta_m \\ + 1/2 \cdot P \cdot (Ld - Lq) \cdot I_a^2 \sin 2\theta \quad \dots (11)$$

【0040】ここでもう一度特殊化して図7に示すように界磁磁束  $\Phi_m$  が界磁磁束中心の方向  $\Phi_n$  から正方向と負方向にそれぞれ  $\delta$  だけ広がった範囲で、界磁磁束  $\Phi_m(\theta_m)$  が一定の磁束  $\Phi_m 1$  となり、それ以外の領域では  $\Phi_m(\theta_m)$  が0である場合に、リラクタンストルク

$T_r$  が最大となるように電流位相  $\theta = \pi/4$  で駆動したとすると、(11)式は次式(12)のようになる。

【0041】

【数2】

$$T = P \cdot \Phi_m 1 \cdot I_a \int_{\theta_m - \delta}^{\theta_m + \delta} \cos(\theta_m - \pi/4) d\theta_m \\ + 1/2 \cdot P \cdot (Ld - Lq) \cdot I_a^2 \quad \dots (12)$$

【0042】(12)式より出力トルク  $T$  が最大となるのは、 $\theta_n = \pi/4$ 、 $\delta = \pi/2$ のときである。しかし、この条件は界磁磁束の範囲となる電気角  $\theta_n$  の範囲が、 $-\pi/4$  以上  $3\pi/4$  以下であるので  $d$  軸を含んでしまい、回転子1に磁気極を構成するための磁路を設けるのが困難となる。そこで、 $d$  軸の磁路を電気角  $\pi/18$  (rad) 確保する。そして、このような磁路を設けたときにマグネットトルク  $T_m$  が最大となるのは、 $\theta_n =$

$14\pi/36$  (70度)、 $\delta = 13\pi/36$  (65度)のときである。このとき、 $\theta_n = \pi/4$ 、 $\delta = \pi/2$ のときに得られる最大マグネットトルク  $T_m$  に対するマグネットトルク  $T_m$  の比  $Z$  は、次式(14)のように0.8以上となる。

【0043】

【数3】

$$Z = \frac{T_m(\theta_n = 14\pi/36, \delta = 13\pi/36)}{T_m(\theta_n = \pi/4, \delta = \pi/2)} \\ = \frac{P \cdot \Phi_m 1 \cdot I_a \int_{14\pi/36 - 13\pi/36}^{14\pi/36 + 13\pi/36} \cos(\theta_m - \pi/4) d\theta_m}{P \cdot \Phi_m 1 \cdot I_a \int_{\pi/4 - \pi/2}^{\pi/4 + \pi/2} \cos(\theta_m - \pi/4) d\theta_m} \\ = \frac{\int_{-2\pi/9}^{\pi/2} \cos X \cdot dX}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos X \cdot dX} \\ \approx 0.82 \quad \dots (13)$$

【0044】このように、 $\theta_n \approx 14\pi/36$ 、 $\delta \approx 13\pi/36$ とした4極の回転子形状例を図8に示す。回転子13の各極には、凸部が回転軸の中心C方向に向いた円弧形状のギャップ空間14と、磁路の設けられた  $d$  軸から  $\theta_n + \delta$  方向でギャップ空間14から円周近傍までの略長方形形状のギャップ空間15と、円周表面に沿ってギャップ空間14とギャップ空間15の間に設けられたギャップ空間16が打ち抜きにより設けられている。

【0045】ギャップ空間14の一部に第1の永久磁石17が挿入されている。ギャップ空間15の全部に第2の永久磁石18が挿入されている。ギャップ空間16は電気角  $\theta_n + \delta$  以上で磁束を遮断するために設けられている。したがって、ギャップ空間16の設けられている回転子13の周縁部では磁束がほとんど存在しない。永久磁石18は必ずしも必要でないが、磁束の向きが  $q$  軸と一致するように設けられている。

【0046】永久磁石17は永久磁石18のギャップ空間16方向面の磁束を打ち消す程度にギャップ空間16の近傍まで挿入されている。このような構造の回転子13を備えた同期型モータでは電機子電流を $\theta = \pi/4$ となるように電流を制御して駆動することによりマグネットトルクを十分大きく利用できる。

【0047】また、図9に示すように、磁気極のd軸の磁路がd19、d20がギャップ空間14に沿って確保されるのでリラクタンストルクも大きく利用することができる。また、q軸磁路q21は永久磁石15によってq軸と一致する。これにより、マグネットトルク $T_m$ とリラクタンストルク $T_r$ のピークが一致しているため出力トルク $T$ が大きくなる。

【0048】 $\theta_n$ が $\pi/4$ ぐらいとなるように永久磁石を配置したときには、図4に示すようにマグネットトルク $T_m$ とリラクタンストルク $T_r$ のピークが近づき、合成した出力トルク $T$ は鋭鋭な特性となる。この特性を持つ回転子では電流位相の小さなずれによっても出力トルクに大きな変動が生ずるため、負荷変動等に対して電流位相を最適な状態に保つ制御を行うのが難しく性能低下を起こし易い。そこで、図10に示すように、回転子にスキューを加えて、上記特性のピークを平坦化する。

【0049】この回転子25の断面図は図2と同様であるので同一部分には同一符号を付して説明を省略する。そして、回転子25は複数の電磁鋼板から成り、各鋼板の円周部分にはd軸方向を示す印21が加えられている。そして、回転軸9の方向に積層された2枚の電磁鋼板22と、2枚の電磁鋼板23と、3枚の電磁鋼板24はそれぞれ印21を一致させているが、電磁鋼板22と23の接合面、電磁鋼板23と24の接合面は印21を円筒側面に沿って回転方向又はその逆方向にずらして積層され固定されている。これにより、回転子25のトルク特性が電流位相に対して平坦となる。したがって、負荷変動等によっても出力トルクの変動が小さくなるので駆動制御が容易となり、性能低下を起こし難い構造となる。なお、回転子25の断面が図8に示すような構造である場合にもスキューをもたすことによって出力トルク特性の平坦化が望める。

【0050】以上説明したように、図2に示す回転子1では永久磁石2a、2bと磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極8a、8bを備え、回転子内部に永久磁石2a、2bが配置されているので、回転子1の高速回転によっても永久磁石2a、2bが飛散せず、同期型モータの故障が防止される。

【0051】さらに、ギャップ空間3a、3bによって回転子内部に透磁率の異なる部分が設けられ、これによりその間の領域に磁気極8a、8bが設けられるので回転子1の形状を円柱形とすることができる。したがって、回転子1の断面が小判形の形状に比べて回転によって巻き上がる風が小さくなるので風損による回転抵抗

を小さくすることができる。

【0052】また、図8に示す回転子13でもギャップ空間14、15、16によって磁気極を備えた回転子13の内部に永久磁石17、18が埋め込まれているので、回転子13の高速回転によっても永久磁石17、18が飛散しない。また、回転子13は円柱形であるので、風損による回転抵抗も小さくなる。

【0053】さらに、別の実施形態として、風損による回転抵抗が増大したとしても、回転子の断面が小判形等の円の一部分を面取りした形状とすることによって回転子に磁気抵抗の小さい部分から成る磁気極を設けるようにし、その回転子内部に永久磁石を設けるようにすると、回転子の高速回転時に永久磁石の飛散を防ぐことができる。また、磁気極と永久磁石による界磁磁束との関係を $\theta_n = \pi/4$ 、 $\delta = \pi/2$ の関係を満たすように永久磁石を配置することによって同期型モータでは大きな出力トルクが得られる。この場合には、例えば図2に示す回転子1とは異なり、内部にギャップ空間を設けなくてもよいので面取りにより簡単に製造することができるので設計の自由度や量産性でのコストの面で優れている。

【0054】また、図2に示す回転子1ではギャップ空間3a、3bの代わりにアルミニウム等の低透磁率の材料を埋め込んでも磁気極を設けることができる。このときには、回転子1は強度の面で優れている。なお、図8に示す回転子13ではギャップ空間14、18に永久磁石17を除く部分にアルミニウム等の低透磁率の材料を埋め込む。また、図2には2極の回転子1の例を示し、図8には4極の回転子13の例を示したが、さらに極数を増やした回転子構造とすることができる。

【0055】以上、同期型モータ及びそのモータに用いられる回転子の構造について説明したが、このような同期型モータを強制的に外力を回転子に与えて回転子を回転させると、固定子に起電力が発生するので同期発電機となる。この場合には、回転子の構造を図2や図8に示す構造とすることによって、回転子の高速回転によっても永久磁石が飛散せず、風損による回転抵抗が小さくなり、且つ性能の向上により起電力が増大するという効果が得られる。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に記載の回転子構造とすることによって回転子の内部に永久磁石が所定の位置に埋め込まれているので、回転子が高速回転することによっても永久磁石が回転子より飛散することがない。そのため、このような構造を持つ回転子を備えた同期機では高速回転でも永久磁石が飛散するという故障が防止される。

【0057】また、請求項2に記載の同期機の回転子構造によれば、磁気極の磁路方向と永久磁石による界磁磁束方向の中心とのなす角が電気角で30度以上60以下となっているので、同期型モータである場合、固定子か

らの回転磁界によって生ずるマグネットトルクとリラクタンストルクのピークが近づく。したがって、同期機が同期型モータである場合には出力トルクが大きくなるので高効率のモータとなり、小電流で大きなトルクが得られる。一方、同期機が同期型発電機である場合には小さなトルクで大きな電力が得られる。

【0058】また、請求項3に記載の同期機の回転子構造では、回転子内部に透磁率の異なる部分を設けることによって磁気極を円柱形状で備えた回転子となっている。このような回転子を用いた同期機では風損による回転抵抗が小さくなるので同期型モータでは消費電力の低減や銅損の低減等の効果がある。

【0059】また、請求項4に記載の同期機の回転子構造によれば、円柱形の回転子に打ち抜きによりギャップ空間が設けられることによって透磁率の異なる部分が設けられている。これにより、例えばギャップ空間とギャップ空間の間に磁路ができるので簡単に磁気極を設けることができる。

【0060】また、請求項5に記載の同期機の回転子構造では、磁気極を得るために回転子にアルミニウム等の透磁率の低い材料から成る部分を有する構造としているので、回転子の内部にギャップ空間が設けられた場合に比べて強度の面で優れている。

【0061】また、請求項6に記載の同期機の回転子構造によれば、電気角で $-5$ 度から $5$ 度までの範囲に磁極を得るための磁路が設けられている。このとき、永久磁石による界磁束の中心が磁路の中心軸から電気角 $70$ 度の位置に設けられ、これにより両方に電気角で $65$ 度までの範囲で磁束が得られるようになっているので最も大きなマグネットトルクが得られる。したがって、性能低下を抑えながら高価な磁石を節約することも可能となる。

【0062】また、請求項7に記載の同期機の回転子構造によれば、電流位相に対するマグネットトルクとリラクタンストルクのピークを近づけた場合でもトルク特性は位相に対して平坦となる。したがって、位相のずれによってもトルクの変化が小さく安定しているので回転が乱れにくくなる。そのため、同期機の駆動制御が容易となる。

【0063】また、請求項8に記載の同期機の回転子構造によれば、請求項1～請求項8に記載された構成となっているので、回転子内部の永久磁石の飛散による故障の防止や出力トルクの向上等の効果が得られる。したがって、同一性能を得るのであれば、従来に比べて同期型モータの小型化、軽量化が可能となり、省エネルギーに貢献する。

【0064】また、請求項10に記載の同期型発電機で

は、上記理由により上記故障の防止や性能の向上による小型化、軽量化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態の同期型モータの回転子を構造を模式的に示す説明図である。

【図2】 その同期型モータの2極の回転子の断面図。

【図3】 その回転子の説明に用いるための電流、磁束ベクトル図。

【図4】 その同期型モータの出力トルクの特性図。

【図5】 その回転子の界磁束範囲を微小としたときの磁束ベクトル図。

【図6】 その回転子によって得られる出力トルクの特性図。

【図7】 その回転子の界磁束範囲を示す図。

【図8】 本発明の一実施形態の4極の回転子の断面図。

【図9】 その回転子の磁路を示す図。

【図10】 本発明の一実施形態の回転子の構造を示す説明図。

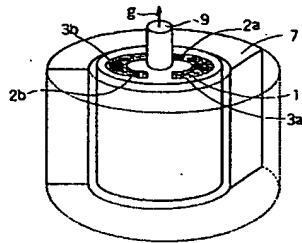
【図11】 従来の同期機の回転子の断面図。

【符号の説明】

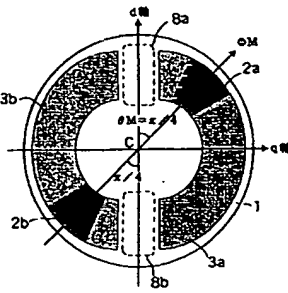
- 1 回転子
- 2 a、2 b 永久磁石
- 3 a、3 b ギャップ空間
- 7 固定子
- 8 a、8 b 磁気極
- 9 回転軸
- 13 回転子
- 14、15、16 ギャップ空間
- 17 第1の永久磁石
- 18 第2の永久磁石
- 21 印
- 22、23、24 積層された電磁銅板
- 25 回転子
- C 回転軸の中心
- I a 電機子電流
- I d 電機子電流のd軸成分
- I<sub>n</sub> 電機子電流の $\Phi_n$ と直交する方向成分
- I q 電機子電流のq軸成分
- T 出力トルク
- T<sub>m</sub> マグネットトルク
- T<sub>r</sub> リラクタンストルク
- $\Phi_n$  永久磁石による磁束の中心方向
- $\theta_n$  d軸と $\Phi_n$ とのなす電気角
- $\theta$  電機子電流の位相



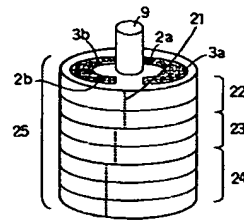
【図1】



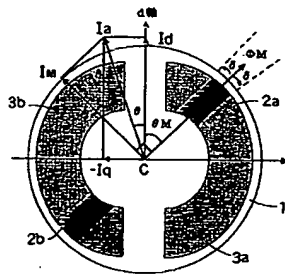
【図2】



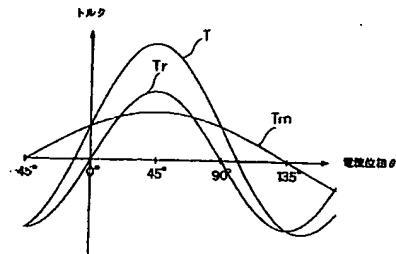
【図10】



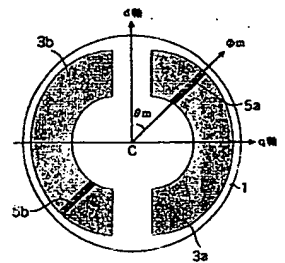
【図3】



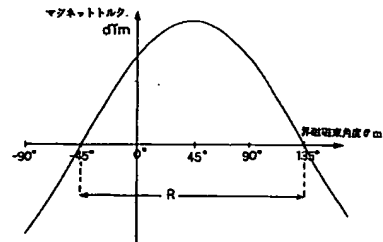
【図4】



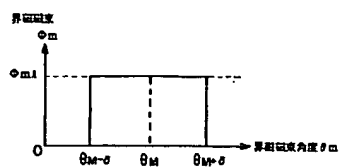
【図5】



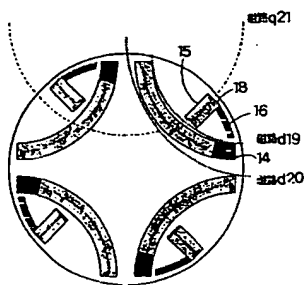
【図6】



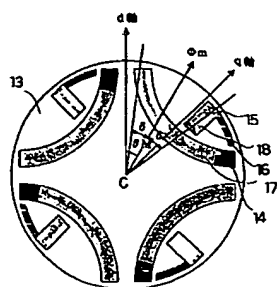
【圖7】



【圖9】



【圖8】



【圖11】

